



(9) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

(12) **Offenl. gungsschrift**
(10) **DE 198 36 132 A 1**

(5) Int. Cl. 7:
H 01 M 8/12

(21) Aktenzeichen: 198 36 132.7
(22) Anmeldetag: 10. 8. 1998
(43) Offenlegungstag: 24. 2. 2000

(71) Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
Ivers-Tiffee, Ellen, Dr., 81245 München, DE;
Lohwasser, Werner, 81827 München, DE; Wersing,
Wolfram, 85551 Kirchheim, DE

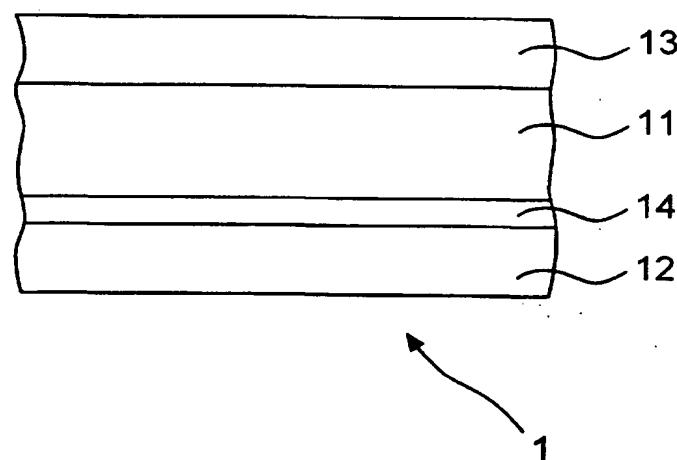
(56) Entgegenhaltungen:
DE 43 14 323 C2
EP 07 26 609 B1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Hochtemperatur-Festelektrolyt-Brennstoffzelle (SOFC) für einen weiten Betriebstemperaturbereich

(57) Es wird eine Hochtemperatur-Festelektrolyt-Brennstoffzelle (SOFC) (1) mit einer hohen Langzeitstabilität angegeben, die bei einer niedrigen Betriebstemperatur und in einem weiten Temperaturbereich mit einem hohen Wirkungsgrad betrieben werden kann. Zwischen einer Kathodenschicht (12), die aus einem mischleitenden Material besteht, und einer Elektrolytschicht (11), die beispielsweise aus einem mit Yttrium voll stabilisiertem Zirkonium-oxid besteht, ist in der Brennstoffzelle (1) eine Zwischenschicht (14) angeordnet, die ein mit Gadolinium und/oder Scandium dotiertes Ceroxid aufweist.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Hochtemperatur-Festelektrolyt-Brennstoffzelle (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC).

In einer Hochtemperatur-Festelektrolyt-Brennstoffzelle (SOFC) wird eine Redoxreaktion eines gasförmigen Brennstoffs mit Sauerstoff elektrochemisch durchgeführt. Dabei wird unter Freisetzung von elektrischem Strom und einer Reaktionswärme Wasser gebildet. Die Redoxreaktion findet in der Nähe eines beidseitig mit Elektroden versehenen Festelektrolyten statt. Ein Brennstoffmolekül wird durch eine Abgabe von Elektronen oxidiert und der Sauerstoff durch eine Aufnahme von Elektronen reduziert. Der Festelektrolyt trennt den Brennstoff und den Sauerstoff. Er verhindert eine elektrischen Kurzschluß und sorgt durch eine hohe Leitfähigkeit für ein Ion und gleichzeitig eine niedrige Leitfähigkeit für ein Elektron für einen Stoffausgleich.

Eine Hochtemperatur-Festelektrolyt-Brennstoffzelle, die beispielsweise einen Mehrschichtaufbau aufweist, wird bei einer Betriebstemperatur von bis zu 1100°C eingesetzt. Durch die hohe Betriebstemperatur kann es an einer Grenzfläche der Brennstoffzelle, wie die zwischen einer Anodenschicht und einer Elektrolytschicht, zu einem chemischen und/oder physikalischen Prozeß kommen. Dieser Prozeß kann eine Langzeitstabilität der Brennstoffzelle gefährden. Durch eine Interdiffusion zwischen einzelnen Schichten der Brennstoffzelle verändert sich beispielsweise eine chemische Zusammensetzung einer Schicht und dadurch auch eine Eigenschaft der Schicht.

Um die Langzeitstabilität einer Brennstoffzelle zu verbessern, werden Brennstoffzellen entwickelt, die bei einer möglichst niedrigen Betriebstemperatur eingesetzt werden können.

Eine derartige Hochtemperatur-Festelektrolyt-Brennstoffzelle geht aus DE 43 14 323 C2 hervor. Die Brennstoffzelle weist einen Mehrschichtaufbau auf. Sie besitzt eine Elektrolytschicht, die beispielsweise aus voll stabilisiertem, mit Yttrium dotiertem Zirkoniumoxid (YSZ) besteht. Die Elektrolytschicht befindet sich zwischen einer Anoden- und einer -Kathodenschicht. Die Kathodenschicht besteht aus einem Mischoxid mit einer chemischen Zusammensetzung ABO_3 . Dabei ist A aus Lanthan, Strontium und Calcium ausgewählt. B kann Mangan, Kobalt oder Nickel sein. Zwischen der Elektrolytschicht und der Kathodenschicht ist eine Zwischenschicht angeordnet. Diese Zwischenschicht ist ausgewählt aus einer 1 bis 3 µm dicken Schicht aus einem elektronen- und ionenleitenden Kathodenmaterial. Mit Hilfe dieser Zwischenschichten wird eine effektive, elektrochemisch aktive Grenzfläche zwischen der Elektrolytschicht und den angrenzenden Kathodenschicht vergrößert. Die beschriebene Brennstoffzelle wird beispielsweise bei 900°C eingesetzt. Bei dieser Temperatur kann die Brennstoffzelle mit einer ausreichenden Ionenleitfähigkeit, mit einem hinreichend niedrigen inneren Verlust und daher mit einem hohen Wirkungsgrad betrieben werden.

Für eine gute Arbeitsweise einer Brennstoffzelle ist nicht nur eine möglichst niedrige Betriebstemperatur vorteilhaft. Sie sollte auch in einem möglichst großen Temperaturintervall mit einem hohen Wirkungsgrad eingesetzt werden können. Diese Forderung ergibt sich daraus, daß für eine Wärmeabfuhr in der Brennstoffzelle ein Temperaturunterschied von 100 K-200 K zwischen Gasein- und Gasauslaß erforderlich ist.

Die Forderung nach einer möglichst niedrigen Betriebstemperatur einer Brennstoffzelle verknüpft mit einem möglichst großen nutzbaren Temperaturintervall wird vom angegebenen Stand der Technik nicht zufriedenstellend erfüllt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Hoch-

temperatur-Festelektrolyt-Brennstoffzelle anzugeben, die bei einer niedrigen Betriebstemperatur und in einem weiten Temperaturbereich mit einem hohen Wirkungsgrad betrieben werden kann.

- 5 Zur Lösung der Aufgabe wird eine Hochtemperatur-Festelektrolyt-Brennstoffzelle (SOFC) angegeben, mit einer Elektrolytschicht, einer Kathodenschicht, die ein elektronen- und ionenleitendes Material aufweist, und einer zwischen der Elektrolytschicht und der Kathodenschicht angeordneten Zwischenschicht, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht ein Ceroxid aufweist, das zumindest einen aus der Gruppe Gadolinium und/oder Scandium ausgewählten Stoff aufweist.
- 10 Der grundlegende Gedanke der Erfindung besteht darin, einen Grenzflächenwiderstand zwischen der Kathodenschicht und der Elektrolytschicht abzusenken. Bei einer Betriebstemperatur unter 700°C liefert dieser Widerstand einen entscheidenden Verlustbeitrag in einer herkömmlichen Brennstoffzelle, deren Elektrolytschicht beispielsweise YSZ umfaßt.

Der Grenzflächenwiderstand wird dadurch gesenkt, daß die Kathodenschicht ein mischleitendes Material aufweist. Dieses Material ist sowohl elektronen- als auch ionenleitend. Durch das mischleitende Material wird eine effektive elektrochemisch aktive Grenzfläche zwischen Elektrolyt- und Kathodenschicht erhöht. Die Kathodenschicht ist beispielsweise zwischen 50 und 200 µm dick.

- 15 An der Grenzfläche zwischen einer mischleitenden Kathode und einem YSZ-Elektrolyten kann sich eine isolierende bzw. schlecht leitende Phase bilden. Eine derartige Phase ist beispielsweise die Pyrochlorphase $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$. Eine damit vergleichbare Phase tritt an der Grenzfläche zwischen einer mischleitenden Kathode und einem Ceroxid, das mit Gadolinium dotiert ist (GCO-Elektrolyt), nicht auf. Ein entsprechender Effekt wird auch mit einem Ceroxid erreicht, das zusätzlich oder alleine mit Scandium dotiert ist. Zu einer Senkung des Grenzflächenwiderstands wird deshalb zwischen einer YSZ-Schicht und der Kathodenschicht eine dünne Zwischenschicht mit einem Ceroxid angeordnet, das mit Gadolinium und/oder Scandium dotiert ist. Um die Verlustleistung möglichst gering zu halten, die durch die Zwischenschicht hervorgerufen wird, ist diese Schicht möglichst dünn. Die Zwischenschicht weist beispielsweise eine Dicke von weniger als 20 µm auf.
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45

Die Kathodenschicht weist insbesondere ein elektronen- und ionenleitendes Material einer chemischen Zusammensetzung ABO_3 auf, wobei A ein zweifach positiv geladenes Ion eines Elements und B ein dreifach positiv geladen Ion eines Elements ist. Dieses Material zählt zur Gruppe der Perowskite, wobei A und B jeweils von mehreren Elementen gebildet werden kann.

- 45
- 50
- 55
- 60

In einer besonderen Ausgestaltung verfügt die Brennstoffzelle über eine Kathodenschicht mit einem elektronen- und ionenleitenden Material einer chemischen Zusammensetzung $\text{La}_x\text{A}_{1-x}\text{B}_y\text{C}_{0.1-y}\text{O}_3$, wobei x einen Wert aus einem Bereich von 0,4 bis 0,95 und y einen Wert aus einem Bereich von 0,0 bis 1,0 einnimmt. Ein angegebener Wert ist dabei im entsprechenden Bereich enthalten. A ist zumindest ein aus der Gruppe Barium, Kalzium und/oder Strontium und B zumindest ein aus der Gruppe Chrom, Eisen und/oder Mangan ausgewählter Stoff.

Insbesondere ist das Material mit der Zusammensetzung $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{Fe}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_3$ hervorzuheben. Bei Verwendung dieses Materials ist der angesprochene Grenzwiderstand bei 650°C etwa so hoch wie der einer Standard-LSM-Kathode ($\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$) bei 900°C.

Als Material der Kathode ist auch ein anderes mischleitendes Material denkbar, beispielsweise ein perowskitarti-

ges Mischoxid mit der allgemeinen Zusammensetzung ABO_3 .

Die Brennstoffzelle verfügt insbesondere über eine Elektrolytschicht, die ein Zirkoniumoxid aufweist.

In einer besonderen Ausgestaltung weist die Elektrolytschicht zumindest einen aus der Gruppe Yttrium und/oder Scandium ausgewählten Stoff auf. Das Zirkoniumoxid ist vornehmlich mit Yttrium voll stabilisiert (YSZ). Eine geeignete Dicke der Elektrolytschicht beträgt z. B. 100 bis 150 μm . Allgemein wird jedoch angestrebt, die Elektrolytschicht so dünn wie möglich zu gestalten, um eine daran abfallende Spannung und damit eine Verlustleistung so gering wie möglich zu halten. Ein teilstabilisiertes Zirkoniumoxid ist ebenfalls denkbar. Dieses Zirkoniumoxid zeichnet sich durch eine schlechtere Ionenleitfähigkeit aus als das voll stabilisierte Zirkoniumoxid. Dafür kann aber eine sehr dünne Schicht von bis zu 10 μm herab realisiert werden. Anstelle von Yttrium kann zur Stabilisierung des Zirkoniumoxids auch Scandium eingesetzt werden.

Prinzipiell ist neben dem yttrium- bzw. scandiumdotierten Zirkoniumoxid auch ein anderes, sehr gut ionenleitende Material geeignet, dessen Elektronenleitung vernachlässigbar ist. Darüber hinaus sollte das Material bei einer entsprechenden Betriebsbedingung der Brennstoffzelle, beispielsweise bei 900°C und 15 Bar Druck, sowohl einer reduzierenden als auch einer oxidierenden Atmosphäre gegenüber stabil sein. Eine weitere Anforderung ist eine mechanische Stabilität, die zumindest in einem Verbund mit einer Elektroden- schicht gefordert ist.

In einer besonderen Ausgestaltung weist die Hochtemperatur-Festelektrolyt-Brennstoffzelle einen Mehrschichtaufbau auf. Die Brennstoffzelle verfügt dabei über mindestens einem Stapel, bei dem eine erste bipolare Platte, eine erste Gastransportschicht für einen Brennstoff, eine Anoden- schicht, eine Elektrolytschicht, eine Kathodenschicht, eine zweite Gastransportschicht für Sauerstoff und eine zweite bipolare Platte übereinander angeordnet sind. Mehrere solcher Stapel sind zur Erhöhung einer Betriebsspannung in Reihe geschaltet.

Dies gelingt einfach durch ein Übereinanderanordnen der Stapel. Benachbarte Stapel stehen beispielsweise über einer gemeinsame bipolare Platte miteinander in Kontakt.

Um einen ausreichenden Gasdurchfluß in einer Gastransportschicht zu ermöglichen, ist diese entsprechend porös ge- staltet und/oder weist zumindest einen Gaskanal auf. Für eine Brennstoffzelle, die aus einem einzigen Stapel besteht, genügt es, wenn eine Gastransportschicht für eine Betriebs- bedingung der Brennstoffzelle geeignet ist. Bei mehreren übereinander angeordneten Stapeln ist jedoch zusätzlich eine elektronische Leitfähigkeit erforderlich. Zudem kann eine Gastransportschicht ionenleitend sein. Eine Gastransportschicht besteht vorzugsweise aus dem gleichen Material wie die benachbarte Elektrodenschicht.

Eine bipolare Platte, auch ICM (= Inter Connection Material) genannt, trennt die Gastransportschichten gasdicht von- einander und gewährleisten durch eine elektronische Leitung die elektrische Verschaltung der Stapel. Eine bipolare Platte weist insbesondere ein keramisches Material auf. Eine keramische bipolare Platte ist möglichst dünn und kann mit einer benachbarten Gastransportschicht zur Erhöhung einer Stabilität zu einem Verbundkörper verbunden sein.

Insbesondere weist eine bipolare Platte ein Metall auf. Die Platte kann als metallische Platte ausgebildet sein. Mög- lich ist es auch, einen Gaskanal in einer metallischen und/ oder keramischen bipolaren Platte zu integrieren. Somit übernimmt die Platte eine Aufgabe einer Gastransport- schicht.

Die Anzahl der Stapel ist beliebig, die in einer Brennstoff-

zelle übereinander angeordnet sind. Sie kann jedoch so eingestellt sein, daß entweder ein maximaler Wirkungsgrad, eine maximale Leistung oder eine gute mechanische Eigen- schaft und Langzeitstabilität der Brennstoffzelle erhalten wird.

Eine beschriebene Brennstoffzelle kann neben der Zwischen- schicht zwischen Kathoden- und Elektrolytschicht mindestens eine weitere Zwischen- schicht aufweisen. Beispielsweise kann eine Zwischen- schicht zwischen Anoden- schicht und Elektrolytschicht durch Erhöhung der effektiven elektrochemisch aktiven Grenzfläche den Wirkungsgrad der Brennstoffzelle erhöhen. Eine derartige Zwischen- schicht besteht beispielsweise aus mit Titan oder Niob dotiertem Zirkoniumoxid oder aus mit Niob oder Gadolinium dotier- tem Ceroxid.

Mit Hilfe der Erfindung wird eine Hochtemperatur-Fest- elektrolyt-Brennstoffzelle bereitgestellt, die zur Gewinnung von elektrischem Strom bei einer relativ niedrigen Temperatur und vor allem aber in einem weiten Temperaturbereich von 650°C–950°C betrieben werden kann.

Ein Vorteil einer niedrigen Betriebstemperatur liegt darin, daß kostengünstiges Material für eine bipolare Platte ver- wendet werden kann. Insbesondere weist eine bipolare Platte ein Metall in Form eines Edelstahls auf.

Bei niedrigen Betriebstemperaturen ist es darüber hinaus möglich, ein kostengünstiges Material in einer Anordnung einzusetzen, die eine Brennstoffzelle enthält. Es reicht aus, wenn das Material der Anordnung bis zu einer niedrigeren Temperatur thermisch stabil ist als es bei Verwendung einer herkömmlichen Brennstoffzelle nötig wäre.

Die niedrigere Betriebstemperatur hat zudem einen großen Einfluß auf die Langzeitstabilität der Brennstoffzelle. Beispielsweise wird eine Interdiffusion von Materie zwi- schen einer bipolaren Platte und einer angrenzenden Elektroden- schicht deutlich zurückgedrängt wird. Eine uner- wünschte Reaktion wie die Bildung von Chromoxid, das während des Betriebs verdampfen kann, wird vermieden.

Die Anoden- schicht einer erfindungsgemäßen Brennstoff- zelle besteht beispielsweise aus einem Cermet (= Ceramic Metal) aus Nickel und YSZ. Die Dicke dieser Schicht liegt beispielsweise zwischen 50 und 200 μm . In einer solchen Anoden- schicht und vor allem an einer Grenzfläche zwi- schen der Elektrolyt- und der Anoden- schicht ist eine Anzahl von Tripelpunkten für die Effektivität einer elektrochemi- schen Umsetzung von Bedeutung. Ein Tripelpunkt ist ein Ort, an dem ein Gasvolumen in Kontakt mit einem Bereich elektronischer und einem Bereich ionischer Leitung tritt. Ein Tripelpunkt befindet sich daher stets an einer (auch in- ner- en) Oberfläche des Cermets und dort an der Grenzfläche

zwischen der Keramik und dem Metall. Ein Rekristallisati- onsprozeß kann bei thermischer Belastung der Cermets zur Vergrößerung keramischer und metallischer Körner und da- mit zur einer Verringerung der Anzahl der Tripelpunkte füh- ren. Durch die relativ geringe Betriebstemperatur der erfin- dungsgemäßen Brennstoffzelle nimmt die Anzahl der Tri- pelpunkte langsamer oder überhaupt nicht ab. Ebenso wird die Interdiffusion zwischen der Kathodenschicht und Elektrolytschicht deutlich eingeschränkt. Die Elektrolytschicht und dessen Grenzflächen bleiben erhalten. Dadurch ergibt

sich eine deutlich erhöhte Langzeitstabilität der Brennstoff- zelle.

Anhand mehrerer Ausführungsbeispiele und der dazugehörigen Figuren wird im folgenden eine Hochtemperatur-Festelektrolyt-Brennstoffzelle vorgestellt. Die Figuren stellen keine maßstabsgereuen Abbildungen der bezeichneten Gegenstände dar.

Fig. 1 zeigt eine Hochtemperatur-Festelektrolyt-Brennstoffzelle in einem schematischen Querschnitt.

Fig. 2 zeigt in einem schematischen Querschnitt einen Ausschnitt einer Hochtemperatur-Festelektrolyt-Brennstoffzelle, die aus mindestens einem Stapel besteht.

Die Hochtemperatur-Festelektrolyt-Brennstoffzelle **1** nach **Fig. 1** weist einen planaren Mehrschichtaufbau auf. Die Brennstoffzelle **1** verfügt über eine Elektrolytschicht **11**, eine Kathodenschicht **12**, eine Anodenschicht **13** und eine zwischen der Elektrolytschicht **11** und Kathodenschicht **12** angeordneten Zwischenschicht **14**.

Die Elektrolytschicht **11** besteht aus voll stabilisiertem Zirkoniumoxid (YSZ). Die Elektrolytschicht **11** ist 100 µm dick.

Die Kathodenschicht **12** ist etwa 50 µm dick und besteht aus einem elektronen- und ionenleitenden Material mit der chemischen Zusammensetzung $\text{La}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{Fe}_{0,7}\text{Co}_{0,3}\text{O}_3$.

Die im Vergleich zur Kathodenschicht **12** dünne Zwischenschicht **14** besteht aus mit Gadolinium dotiertem Ceroxid. Die Schichtdicke beträgt 10 µm.

Als Material für die Anodenschicht **13** dient ein Cermet aus Nickel und YSZ. Die Dicke der Anodenschicht **13** liegt wie im Fall der Kathodenschicht **12** bei 50 µm.

In **Fig. 2** ist ein Ausschnitt einer Brennstoffzelle **1** zu sehen, die aus mindestens einem Stapel **2** besteht. Neben einem bereits beschriebenen Verbund aus einer Anodenschicht **13**, einer Elektrolytschicht **11**, einer Zwischenschicht **14** und einer Kathodenschicht **12** weist ein einzelner Stapel **2** der Brennstoffzelle **1** noch eine Gastransportschicht **15** für den Brennstoff und eine Gastransportschicht **16** für den Sauerstoff **16** auf. Die Gastransportschichten **15** und **16** sind aus dem gleichen Material wie die jeweils benachbarte Anodenschicht **13** und Kathodenschicht **12**.

Den Abschluß eines einzelnen Stapels **2** der Brennstoffzelle **1** bzw. die Verbindung zu einem benachbarten Stapel **21** und **22** bildet eine bipolare Platte **191** bzw. **192**. Die bipolaren Platten **191** und **192** sind als metallische Platten ausgebildet. Sie bestehen aus einem Edelstahl.

Über der bipolaren Platte **191** bzw. **192** wird ein nächster Stapel **21** und **22** der Brennstoffzelle **1** aufgebaut, wobei die Anoden- und Kathodenschichten so angeordnet sind, daß eine Reihenschaltung der einzelnen Stapel erreicht wird. Eine bipolare Platte grenzt daher sowohl an eine Gastransportschicht **15**, die ein Brennstoffgas führt, als auch an eine Gastransportschicht **16**, die von Luft durchströmt ist.

Weitere Ausführungsformen ergeben sich durch die Kombination der oben genannten Merkmale mit den Merkmalen einer Brennstoffzelle, die in der Druckschrift DE 43 14 323 C2 angegeben sind.

So unterscheidet sich beispielsweise eine weitere Ausführungsform vom beschriebenen Ausführungsbeispiel dadurch, daß zwischen der Elektrolytschicht **11** und der Anodenschicht **13** eine Zwischenschicht angeordnet ist, die aus einem mit Niob dotiertem Zirkoniumoxid besteht.

Patentansprüche

55

1. Hochtemperatur-Festelektrolyt-Brennstoffzelle (SOFC) (**1**), mit

- einer Elektrolytschicht (**11**),
- einer Kathodenschicht (**12**), die ein elektronen- und ionenleitendes Material aufweist, und
- einer zwischen der Elektrolytschicht (**11**) und der Kathodenschicht (**12**) angeordneten Zwischenschicht (**14**), **dadurch gekennzeichnet**, daß

– die Zwischenschicht (**14**) ein Cerioxid aufweist, das zumindest einen aus der Gruppe Gadolinium und/oder Scandium ausgewählten Stoff aufweist.

2. Brennstoffzelle nach Anspruch 1, mit einem elektronen- und ionenleitenden Material einer chemischen

Zusammensetzung ABO_3 , wobei

- A ein zweifach positiv geladenes Ion eines Elements und
- B ein dreifach positiv geladenes Ion eines Elements ist.

3. Brennstoffzelle nach Anspruch 2, mit einem elektronen- und ionenleitenden Material der chemischen Zusammensetzung $\text{La}_x\text{A}_{1-x}\text{ByCo}_{1-y}\text{O}_3$, wobei

- x einen Wert aus einem Bereich von 0,4 bis 0,95 und
- y einen Wert aus einem Bereich von 0,0 bis 1,0 einnimmt,
- A zumindest ein aus der Gruppe Barium, Kalzium und/oder Strontium und
- B zumindest ein aus der Gruppe Chrom, Eisen und/oder Mangan ausgewählter Stoff ist.

4. Brennstoffzelle nach Anspruch 3, mit einem elektronen- und ionenleitenden Material der chemischen Zusammensetzung $\text{La}_{0,8}\text{Ca}_{0,2}\text{Fe}_{0,7}\text{Co}_{0,3}\text{O}_3$.

5. Brennstoffzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Elektrolytschicht (**11**) ein Zirkoniumoxid aufweist.

6. Brennstoffzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Elektrolytschicht (**11**) zumindest einen aus der Gruppe Yttrium und/oder Scandium ausgewählten Stoff aufweist.

7. Brennstoffzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 6, mit mindestens einem Stapel (**2**), bei dem

- eine erste bipolare Platte (**191**),
- eine erste Gastransportschicht (**15**) für einen Brennstoff,
- eine Anodenschicht (**13**),
- eine Elektrolytschicht (**11**),
- eine Kathodenschicht (**12**),
- eine zweite Gastransportschicht (**16**) für Sauerstoff und
- eine zweite bipolare Platte (**192**) übereinander angeordnet sind.

8. Brennstoffzelle nach Anspruch 7, wobei eine bipolare Platte (**191**, **192**) ein keramisches Material aufweist.

9. Brennstoffzelle nach Anspruch 7 oder 8, wobei eine bipolare Platte (**191**, **192**) ein Metall aufweist.

10. Brennstoffzelle nach Anspruch 9, wobei ein Metall ein Edelstahl ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

